



Clima della Terra: funzionamento, osservazioni, proiezioni e incertezze

Cambiamenti climatici: dati e prospettive

Elisa Palazzi

Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima-CNR

Torino



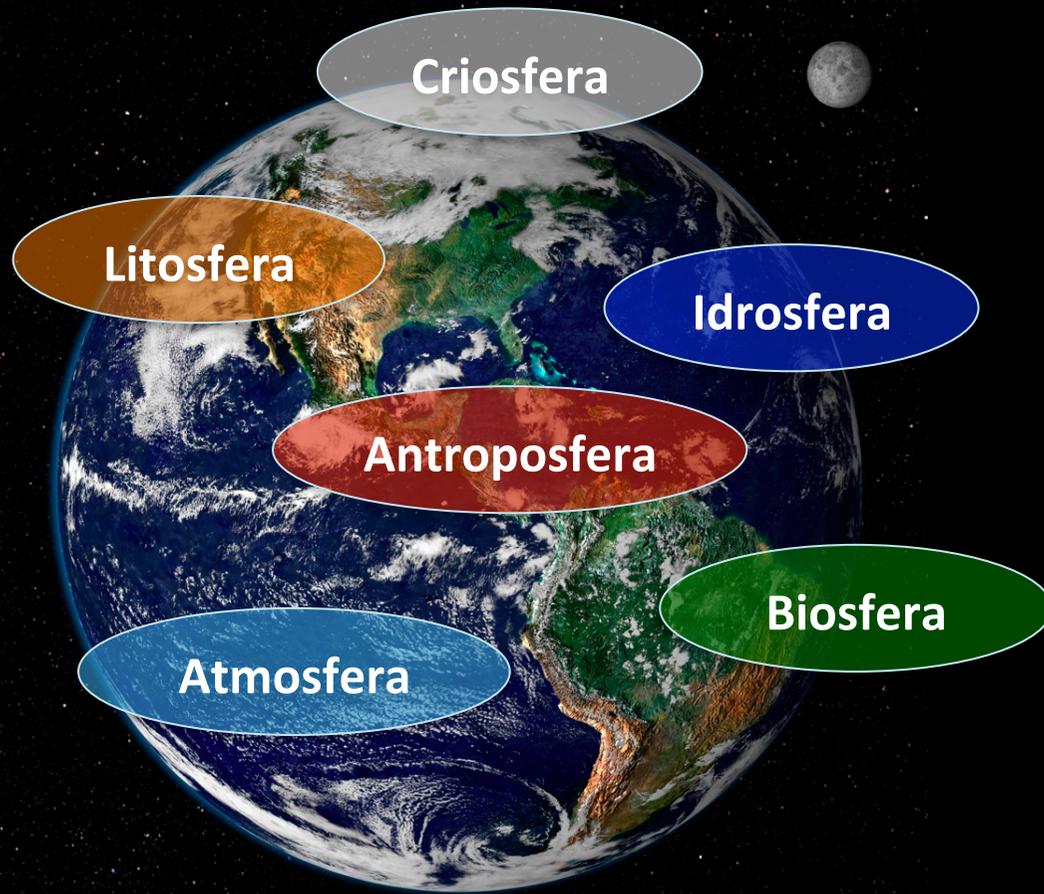
Istituto Veneto
di Scienze Lettere
ed Arti

Venezia, 18 Febbraio 2016

Il clima è un sistema complesso



Il clima è un sistema complesso



Caratterizzato da molte componenti che interagiscono tra loro in modo non lineare

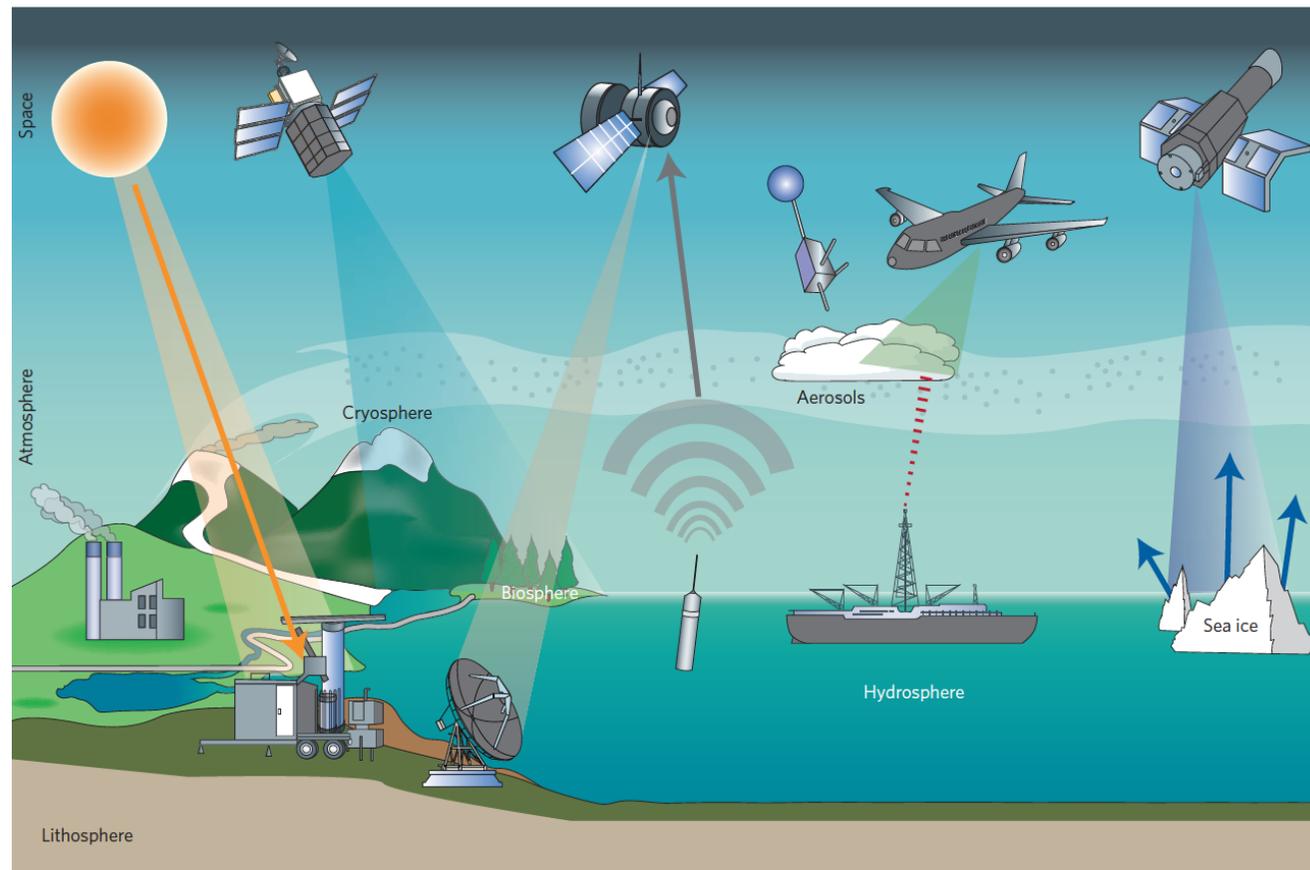
IPCC AR5 2013

*“The climate system is the **highly complex dynamical system** consisting of five major **components**: the atmosphere, the hydrosphere, the cryosphere, the lithosphere and the biosphere, and the **interactions** between them”.*

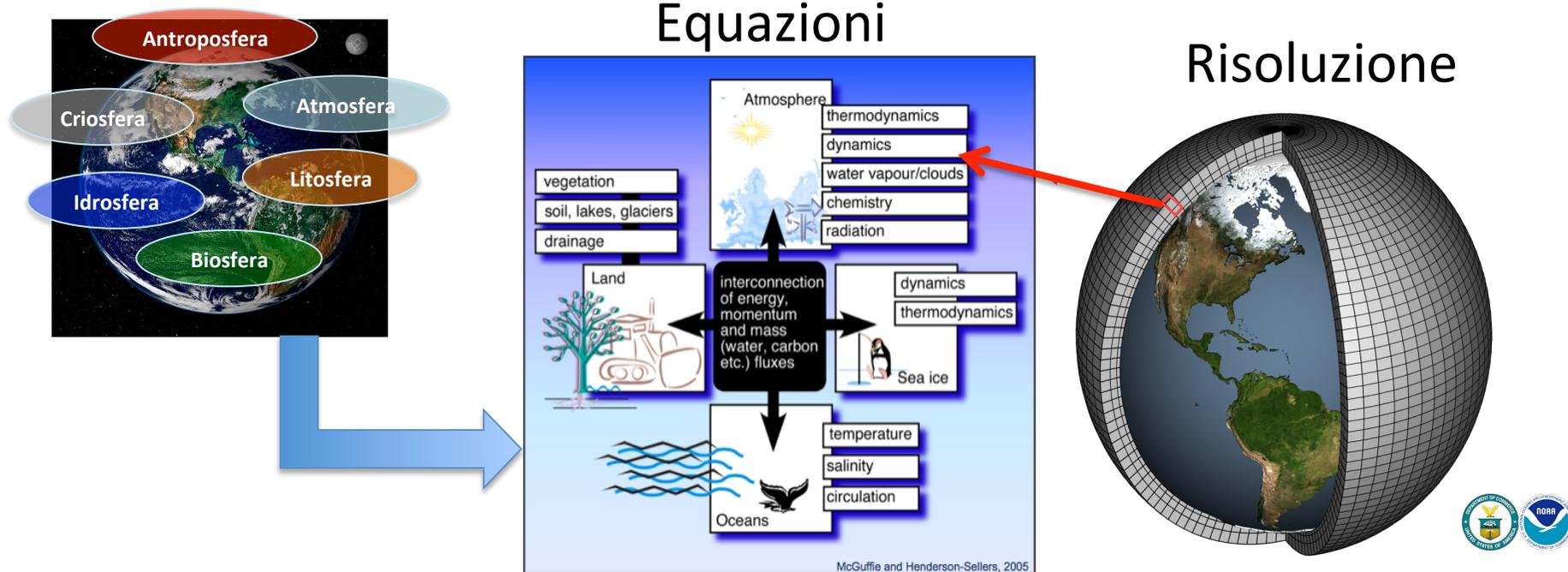
“La realtà è interazione”

Avanzamento nelle metodologie di misura

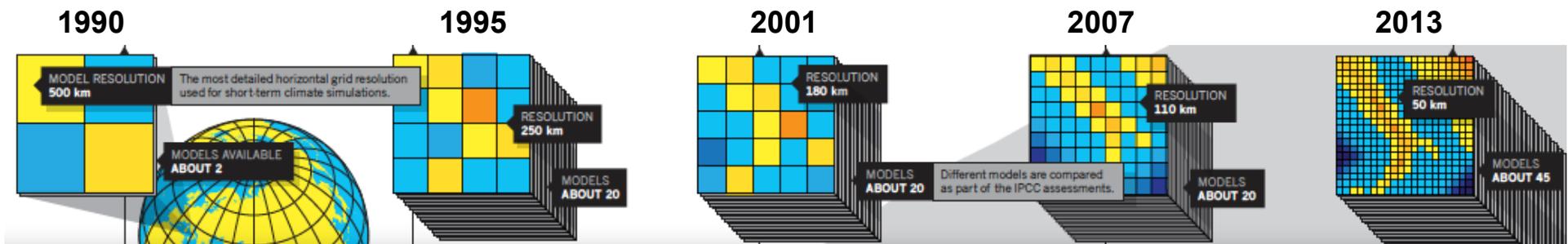
Nell'ultimo decennio nuovi sistemi di osservazione, particolarmente quelli basati sulle misure satellitari, hanno aumentato di ordini di grandezza il numero di osservazioni sul sistema climatico terrestre



Avanzamento nei modelli

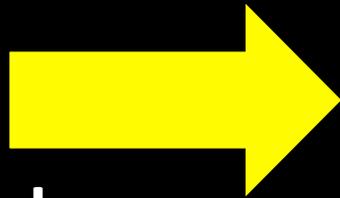


L'avanzamento della ricerca e l'aumento delle capacità e velocità dei nuovi sistemi di calcolo hanno permesso lo sviluppo di modelli più sofisticati che descrivono in modo dettagliato i processi fisici, chimici e biologici nel sistema climatico ed hanno inoltre una risoluzione spaziale molto più elevata

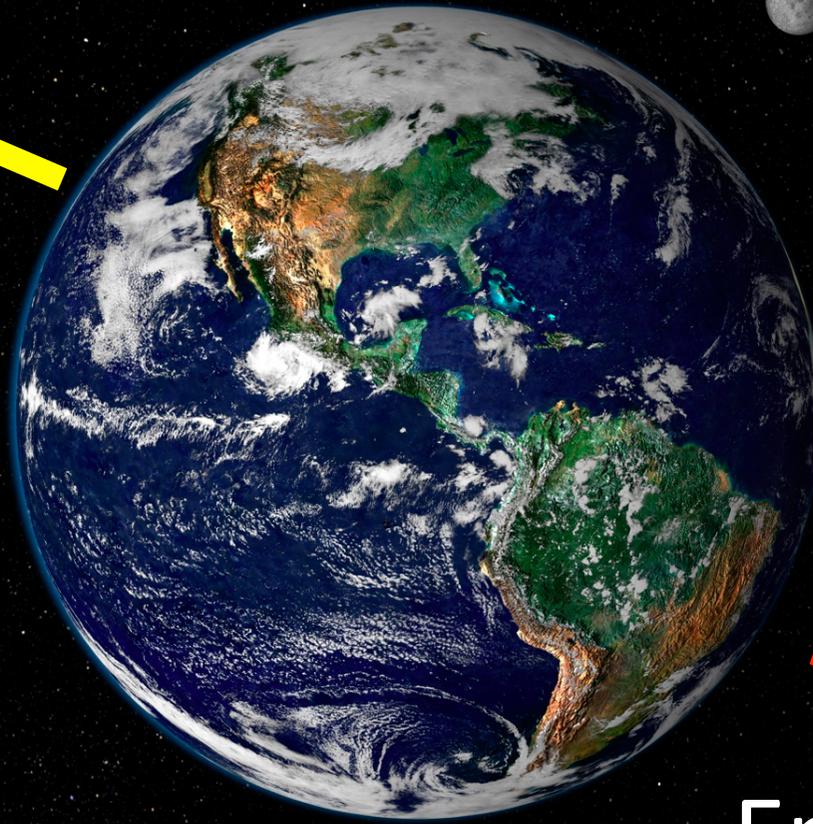


Come funziona il sistema climatico?

Albedo



Luce
solare

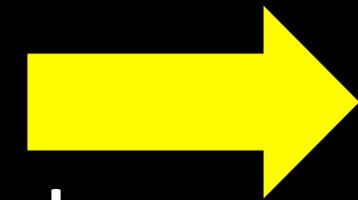


Emissione
Infrarossa

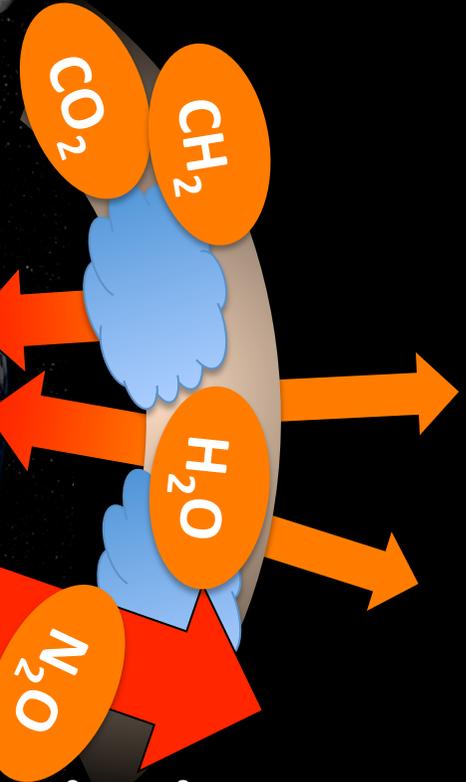
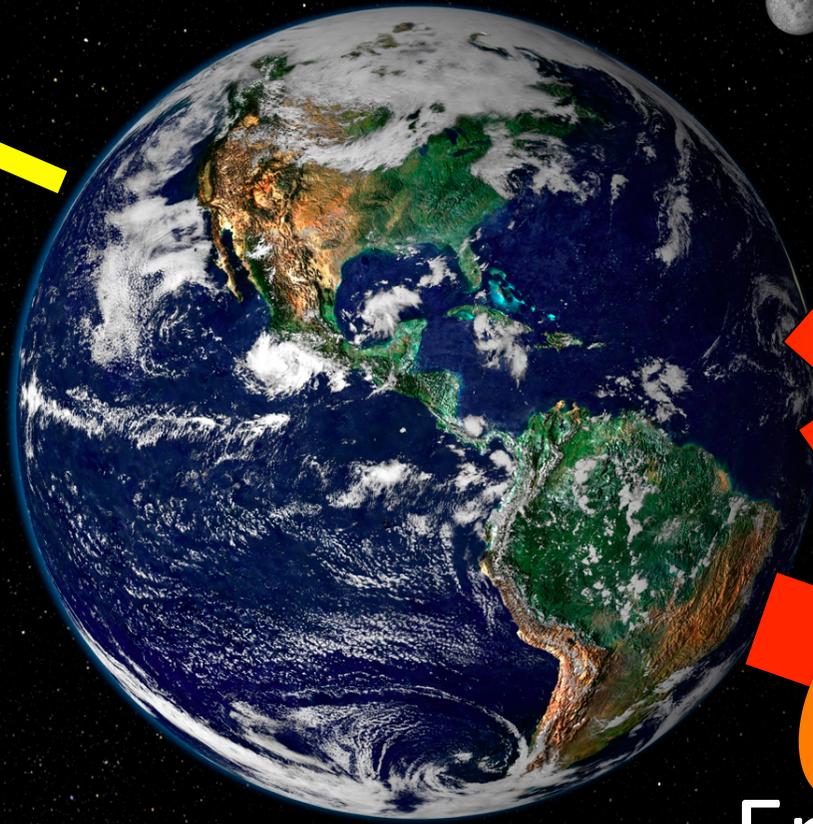


Effetto serra

Albedo

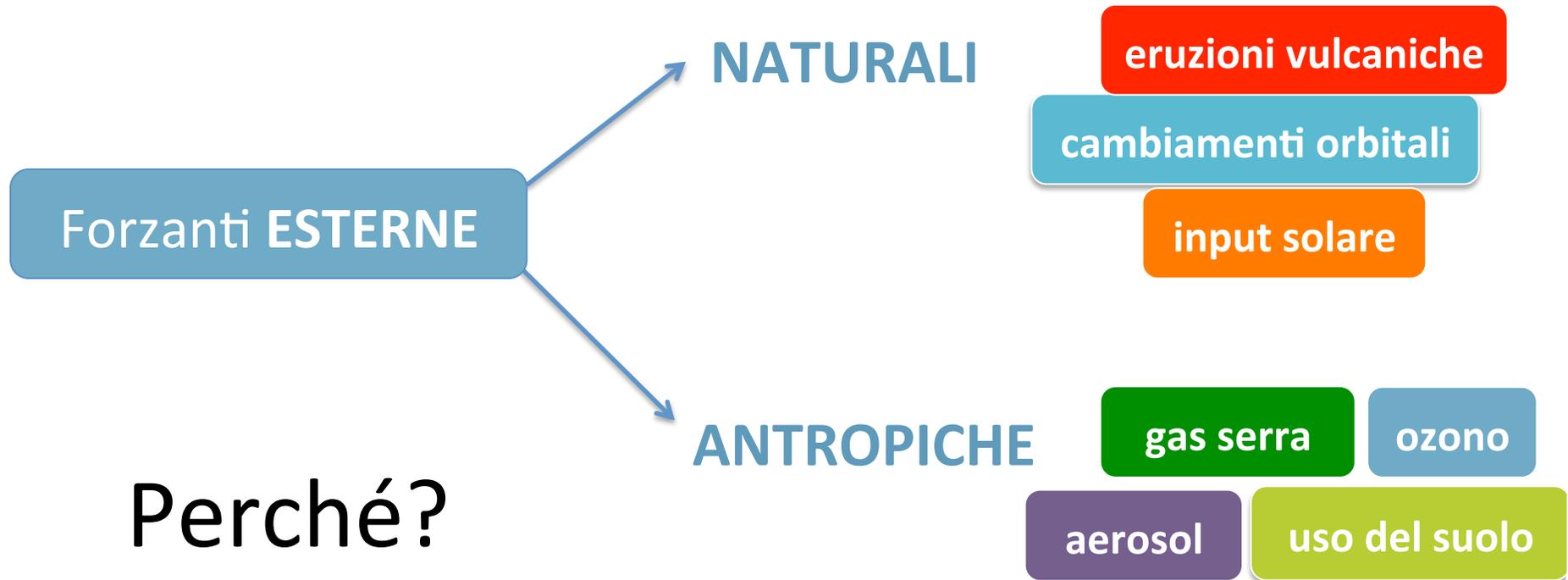


Luce solare



Emissione
Infrarossa

Il clima della terra varia ...

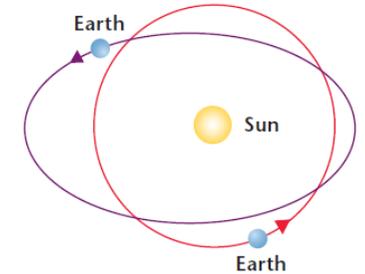


Perché?

Dinamica INTERNA del sistema climatico

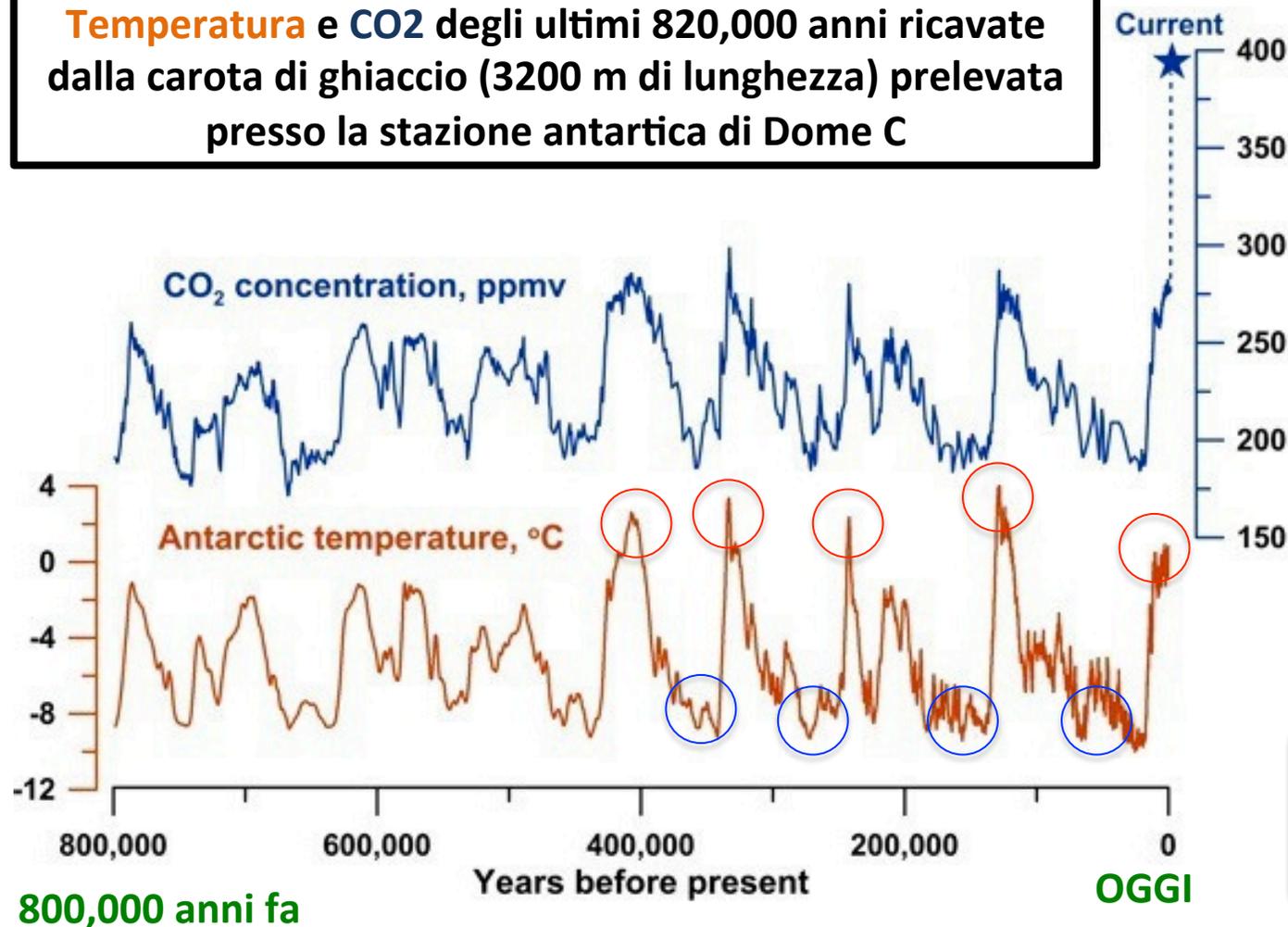
- **Teleconnessioni atmosferiche**
- **Instabilità delle correnti oceaniche**
- **Dinamica è interna al sistema accoppiato oceano-atmosfera**
- **Processi di retroazione fra le varie componenti del sistema.**

... ed è sempre variato



Progetto EPICA (1996-2005: “European Project for Ice Coring in Antarctica”)

Temperatura e **CO₂** degli ultimi 820,000 anni ricavate dalla carota di ghiaccio (3200 m di lunghezza) prelevata presso la stazione antartica di Dome C



Periodi glaciali e interglaciali si sono alternati nell'ultimo milione di anni circa, con un periodo consistente con le variazioni nell'eccentricità dell'orbita terrestre.

cambiamenti orbitali



meccanismi di amplificazione propri della dinamica interna del clima

800,000 anni fa

OGGI

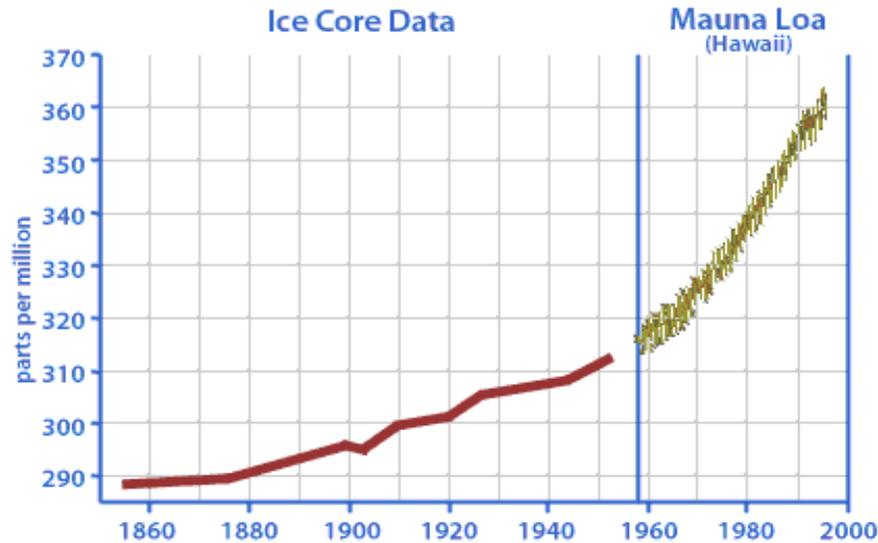
Il clima nell'Antropocene

Dal 1950 sono stati osservati cambiamenti in tutti i comparti del sistema climatico terrestre:

- le concentrazioni di CO₂ e altri gas serra sono aumentate
 - l'atmosfera e l'oceano si sono riscaldati
 - l'estensione ed il volume dei ghiacci si sono ridotti
 - il livello del mare si è innalzato
 - ciclo idrologico intensificato e più eventi estremi
-
- Molti di questi cambiamenti non trovano riscontro nei due millenni precedenti
 - Per questo il riscaldamento globale viene definito nell'ultimo rapporto dell'IPCC **“virtualmente certo”** (probabilità > 99%)

Concentrazione CO2

Carbon Dioxide Concentrations



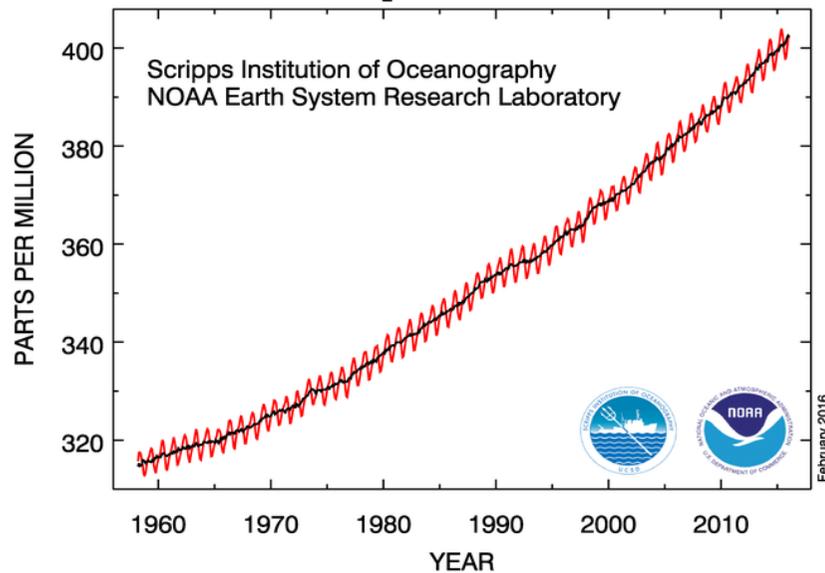
Le concentrazioni di CO₂, CH₄ ed N₂O sono aumentate dal 1750 ad oggi del 40%, 150% e 20%, raggiungendo i valori più elevati degli ultimi 800.000 anni

- La concentrazione di CO₂ è aumentata dai 278 ppm del 1750 ai 390 ppm del 2011

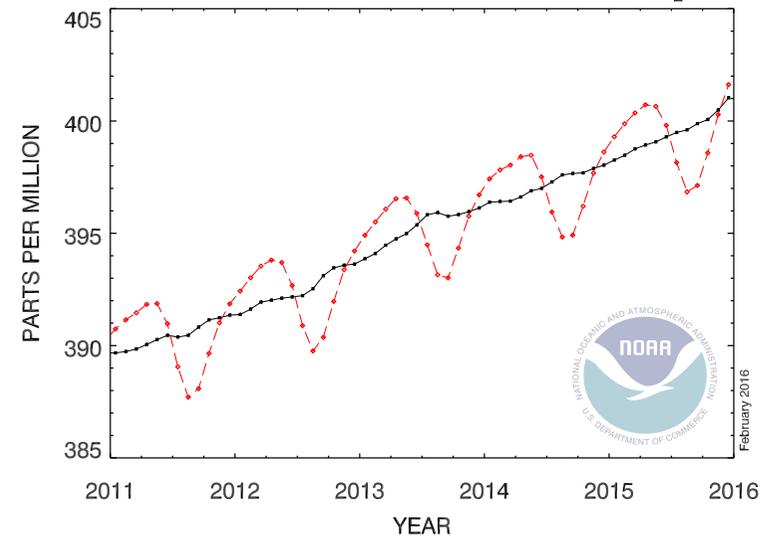
Dicembre 2015: 401.62 ppm

Dicembre 2014: 398.62 ppm

Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory



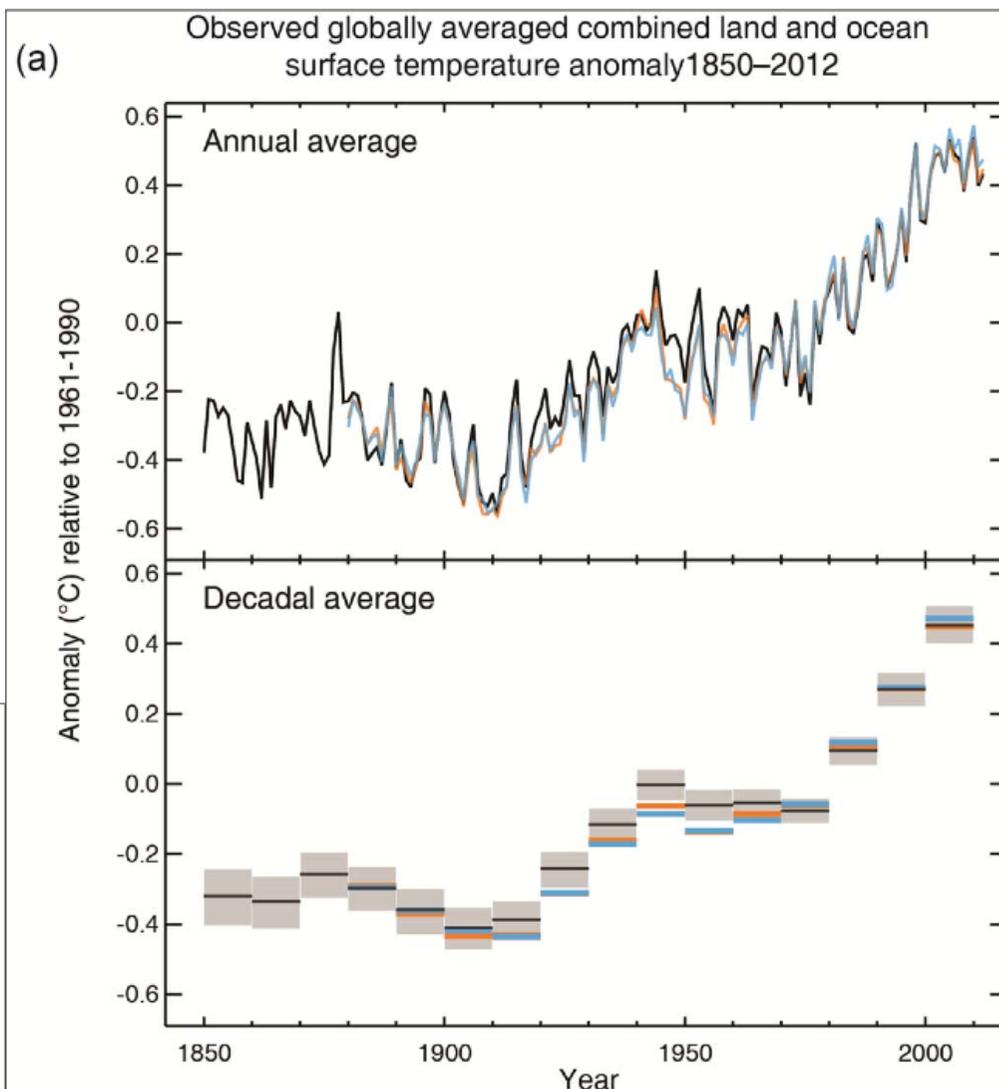
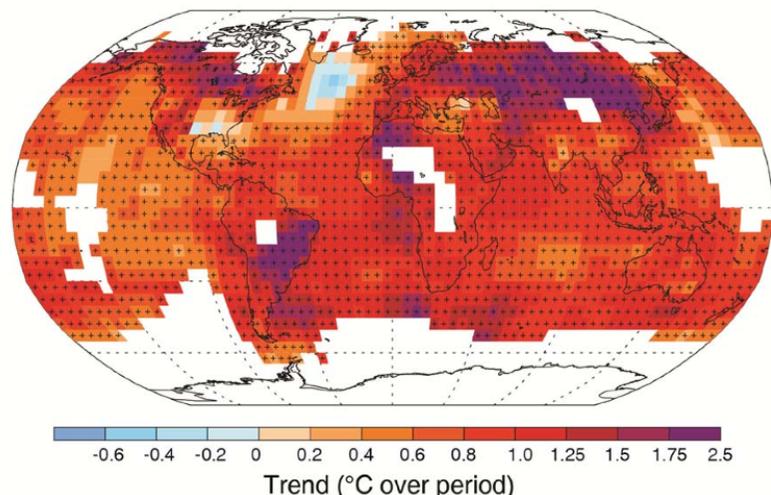
RECENT GLOBAL MONTHLY MEAN CO₂



Riscaldamento atmosfera e oceano

- Il primo decennio del XXI secolo è stato il più caldo dal 1850 e ciascuna decade dell'ultimo trentennio è risultata più calda della decade precedente
- La temperatura media globale nel periodo 1880-2012 è aumentata di **0.85 °C**
- Nell'emisfero nord il trentennio 1983-2012 è stato il più caldo degli ultimi 1400 anni

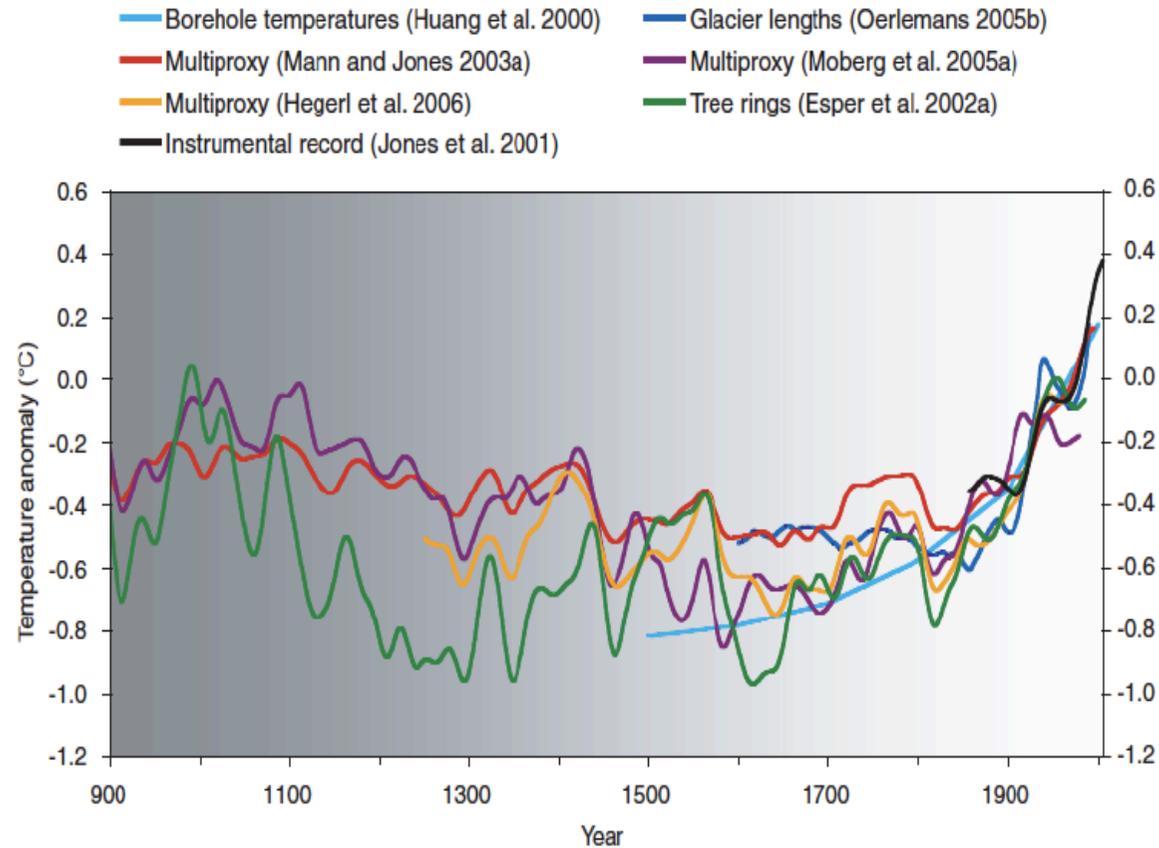
(b) Observed change in average surface temperature 1901–2012



Dal 1950 il cambiamento corre

I sedici anni più caldi (1880-2015)

1	2015
2	2014
3	2010
4	2013
5	2005
6	1998
6	2009
8	2012
9	2003
9	2006
9	2007
12	2002
13	2004
13	2011
15	2001
15	2008



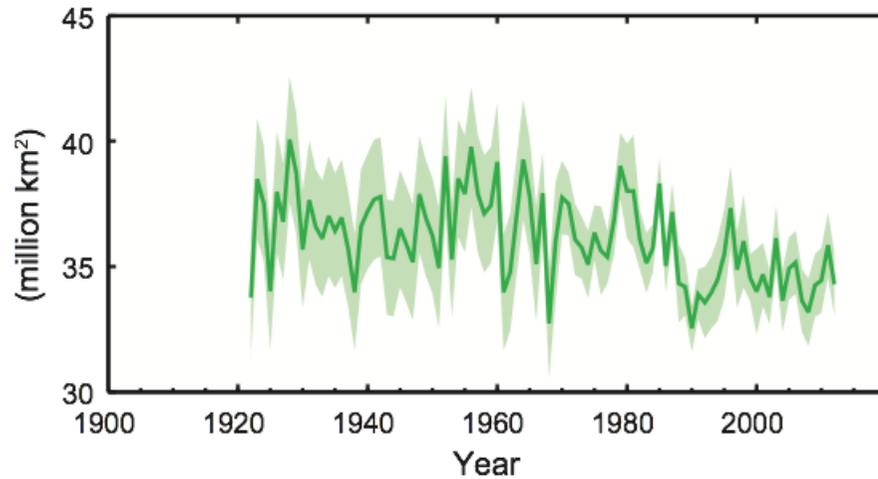
Anomalie della temperatura media globale (rispetto al 1981-2010)

2006	0.28
2007	0.29
2008	0.16
2009	0.27
2010	0.33
2011	0.19
2012	0.26
2013	0.30
2014	0.32
2015	0.46

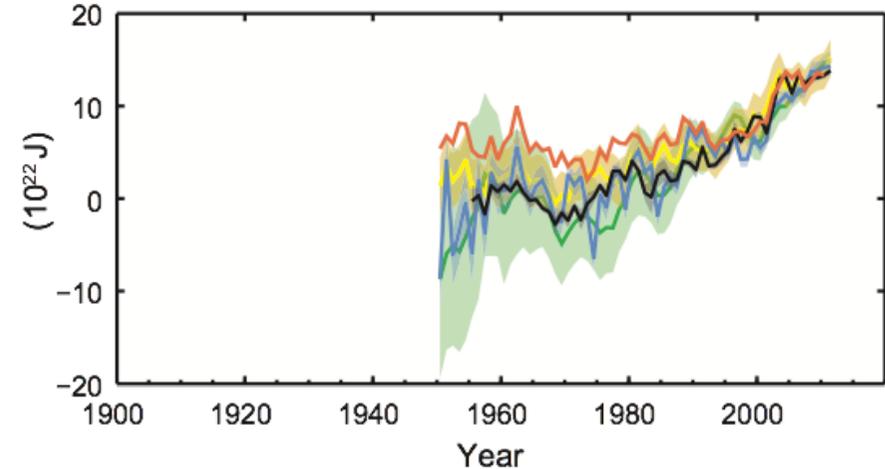
Fig. 3. Ricostruzioni delle anomalie della temperatura globale e di quella dell'emisfero nord nel periodo 900-2000 (curve colorate, come indicato nella legenda) e dati strumentali (curva nera che inizia nel 1880). Le curve sono state filtrate con una media mobile a 40 anni. Le anomalie di temperatura sono riferite alla media della serie di dati strumentali nel periodo 1961-1990. (Tratta da *Surface Temperature Reconstructions of the Last 2,000 Years*, National Academy of Sciences, Washington DC, USA, 2006.) (Reprinted with permission from the National Academies Press, Copyright 2006, National Academy of Sciences.)

Volume dei ghiacci e livello dei mari

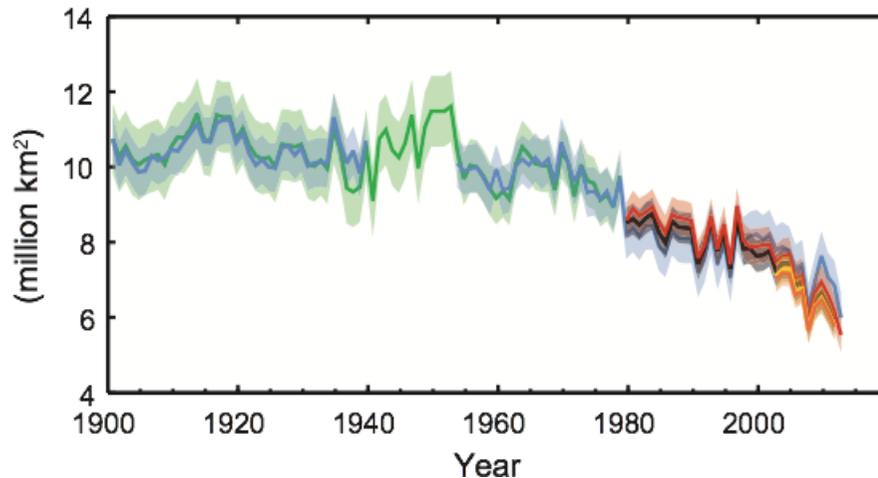
(a) Copertura nevosa in primavera, emisfero nord



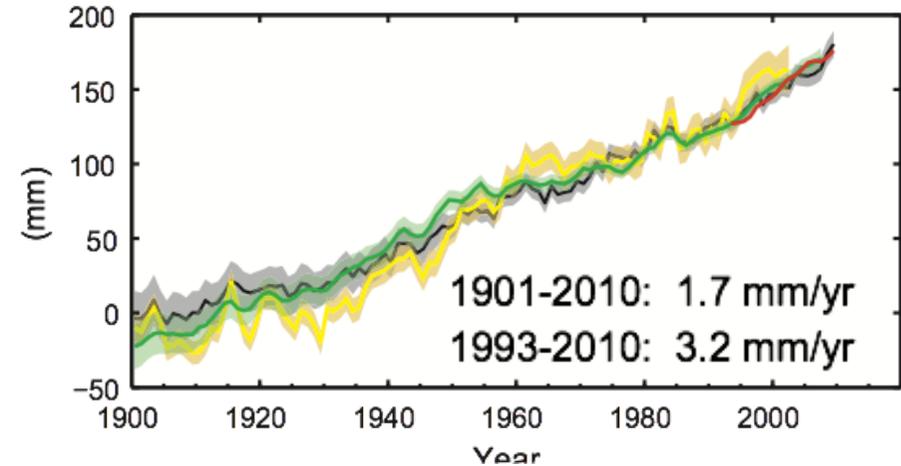
(c) Contenuto di calore nell'oceano



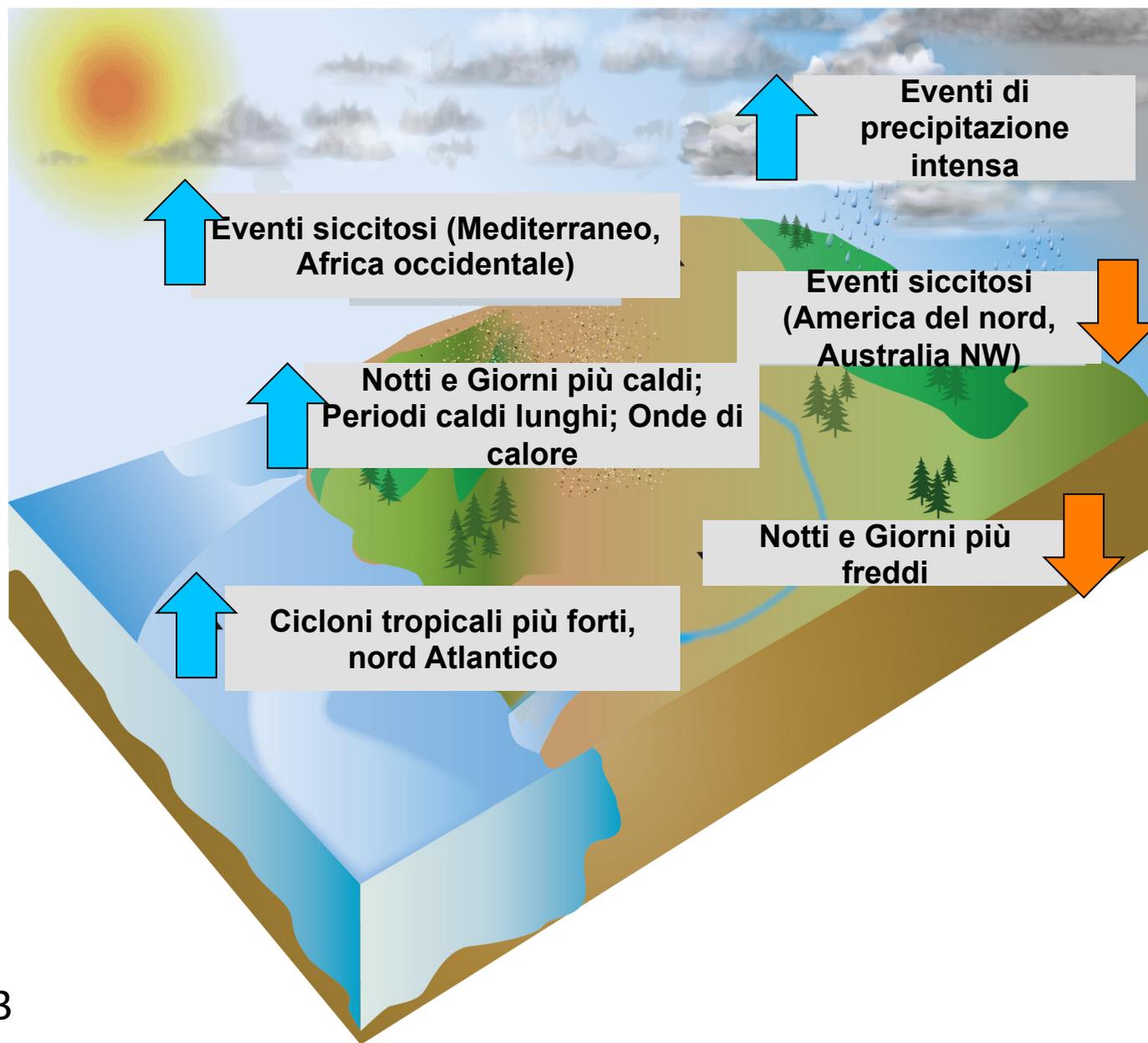
(b) Estensione ghiaccio marino Artico, estate



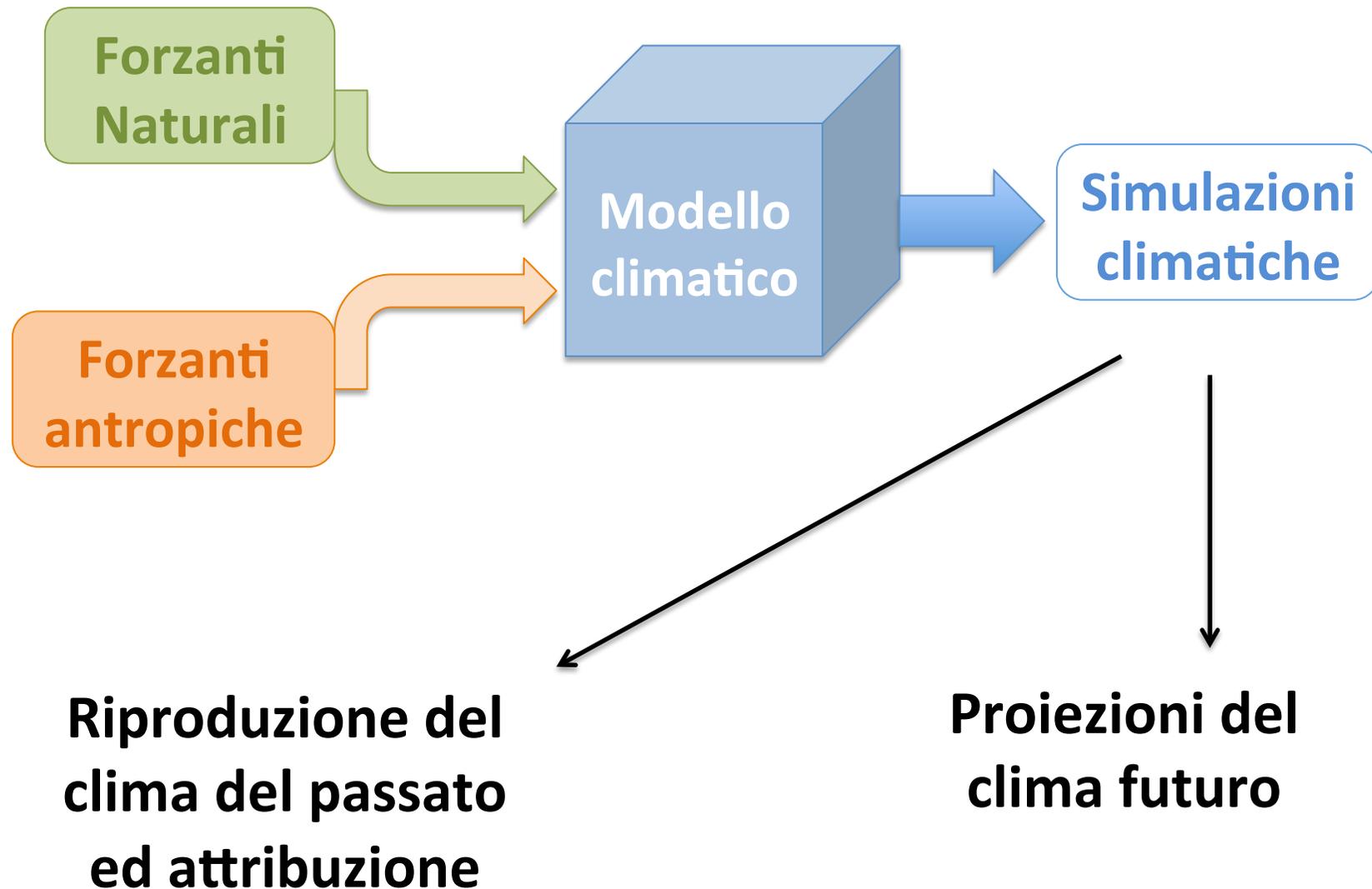
(d) Cambiamento nel livello dei mari



Estremi climatici

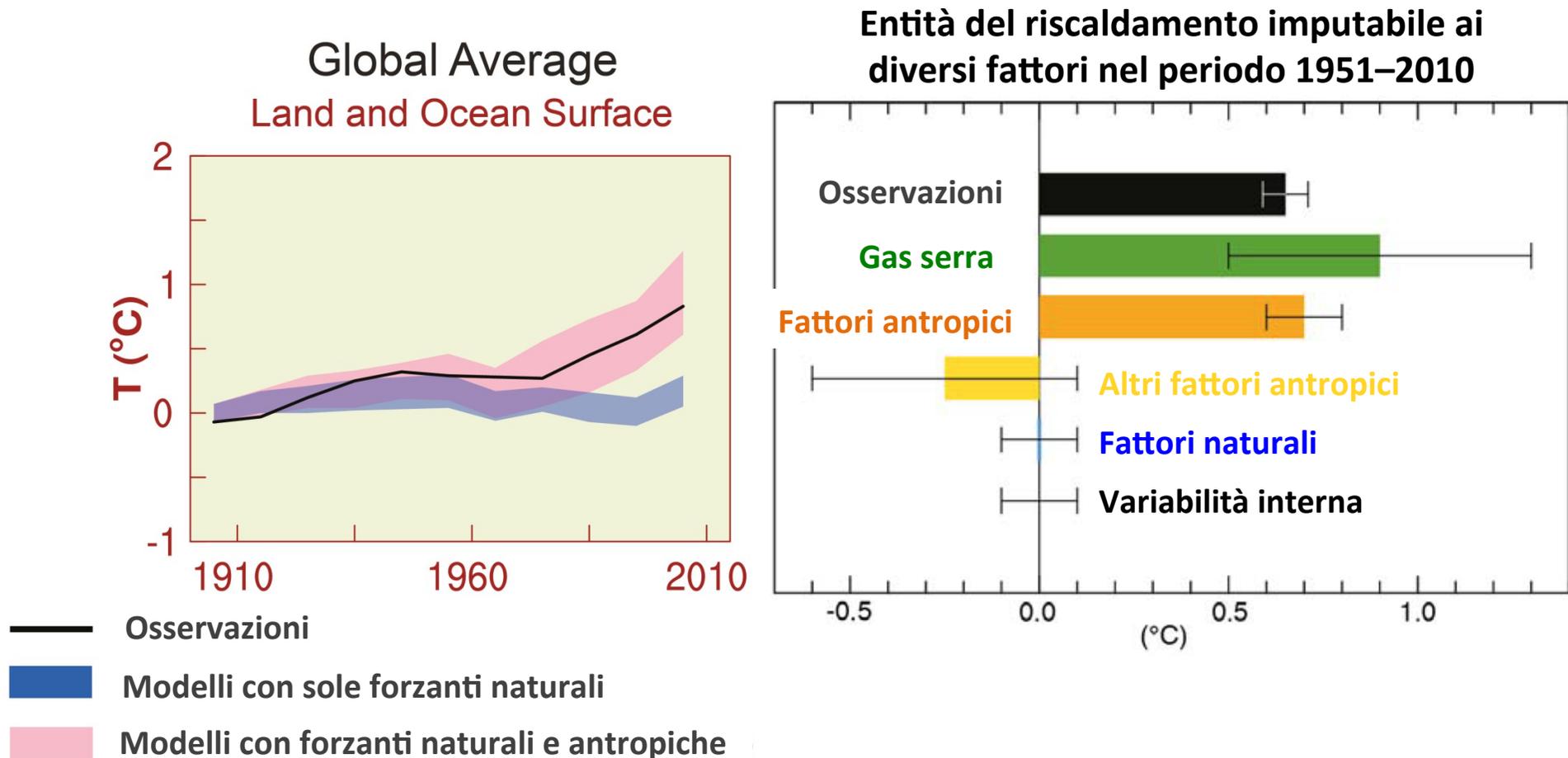


Modelli per il passato, modelli per il futuro



Cause del riscaldamento globale osservato negli ultimi 150 anni

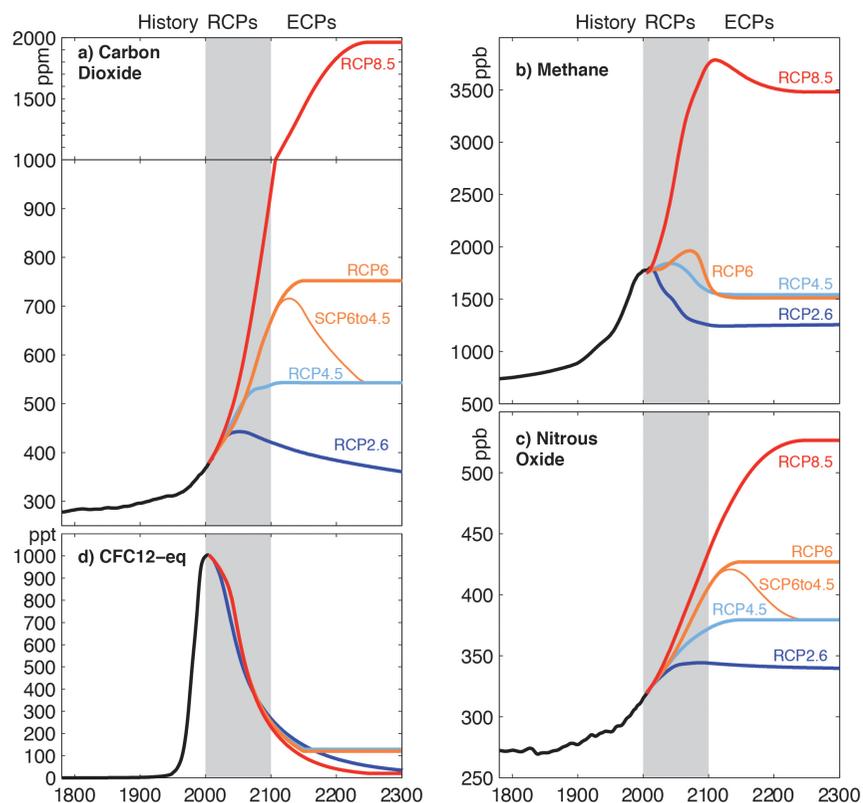
Il riscaldamento climatico è consistente con le simulazioni dei modelli che includono fattori naturali ed antropici



Il futuro che ci aspetta?



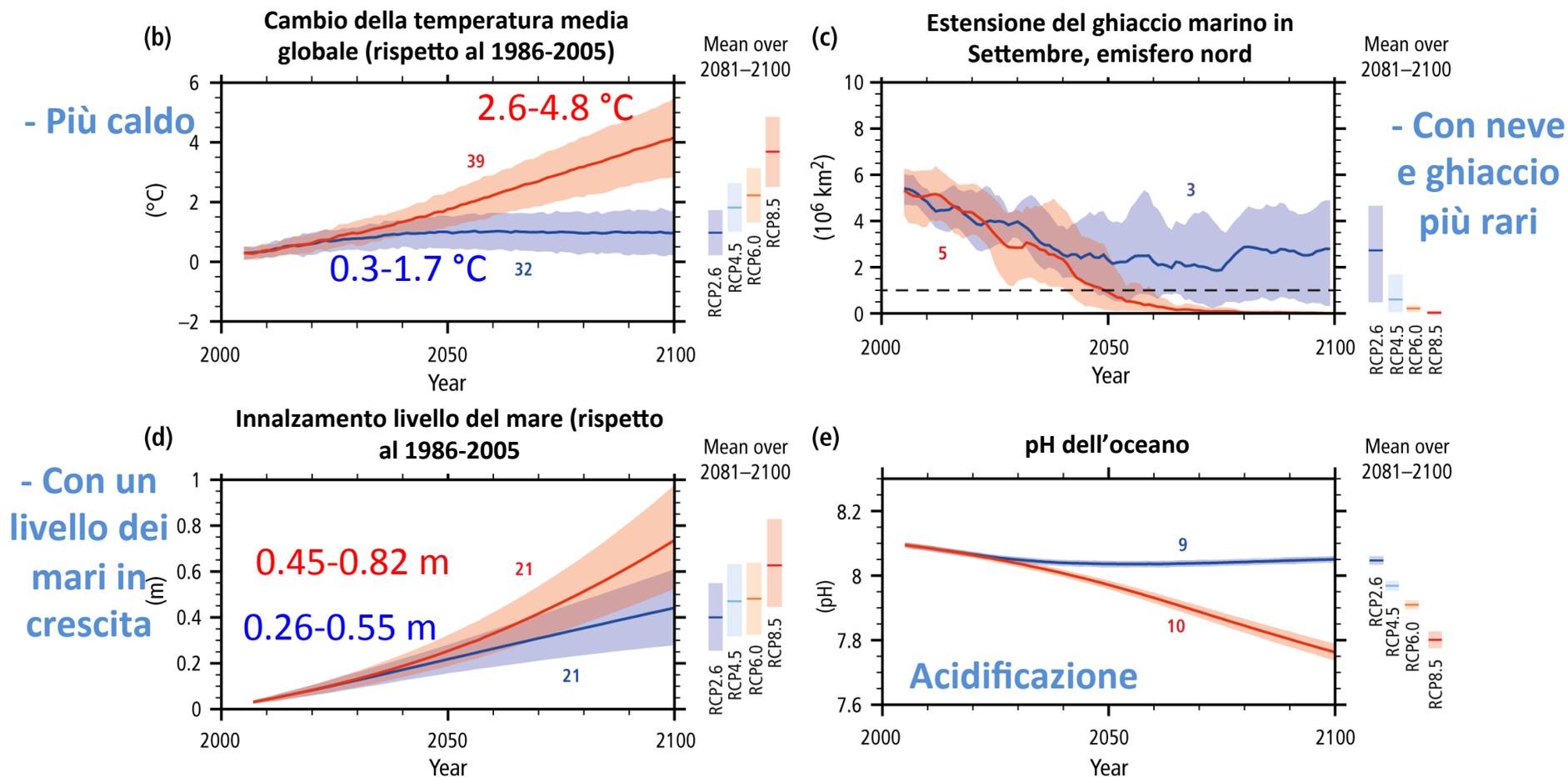
Le **proiezioni** future sui cambiamenti del sistema climatico terrestre sono effettuate utilizzando un insieme di modelli climatici, basandosi su un range di possibili scenari futuri che corrispondono a diversi percorsi di emissione di gas serra, chiamati RCP (Representative Concentration Pathways)



RCP	Concentrazione di gas serra espresse come CO ₂ equivalenti al 2100
2.6	475 ppm
4.5	630 ppm
6.0	800 ppm
8.5	1313 ppm

Proiezioni per il XXI secolo

A livello globale, i modelli climatici prevedono per la fine del 21° secolo un mondo:



- Più piovoso in alcune regioni (oltre 60° latitudine), più secco in altre (inacidimento delle regioni tra 15°-40°, ad esempio il Mediterraneo)
- Con un ciclo idrologico intensificato → più eventi estremi

Fonti di incertezza per le proiezioni future

Tre principali fonti di incertezza per le proiezioni future:

1) variabilità climatica naturale

Fluttuazioni nella variabilità naturale del clima che i modelli non riescono ancora a cogliere nella loro interezza e che influenzano soprattutto le scale di tempo decadali.

2) modelli/risposta climatica

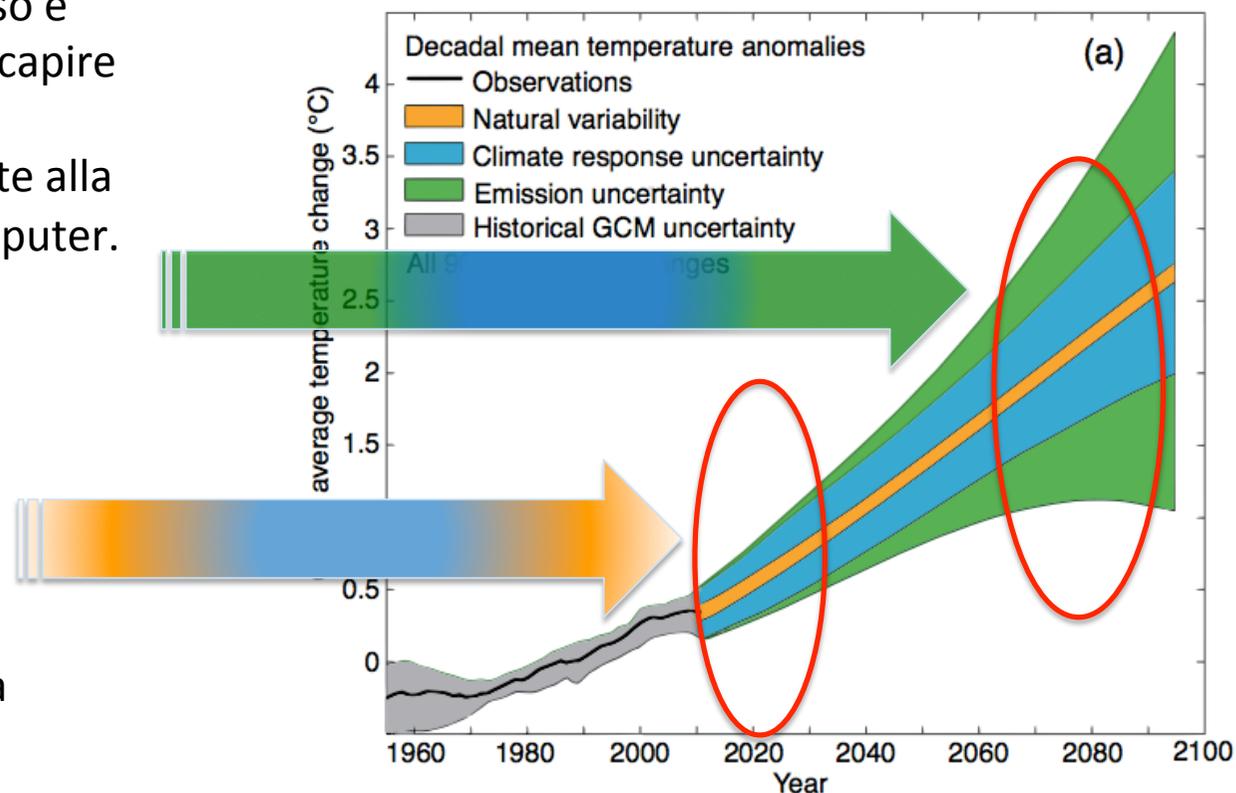
La terra è un sistema complesso e molti meccanismi son ancora da capire (es. **ruolo delle NUBI**). Una complessità irriducibile che resiste alla semplificazione in modelli al computer.

3) scenari di emissione

L'incertezza che deriva dalle nostre limitazioni nella conoscenza delle emissioni future, dell'uso del suolo, delle scelte politico-economiche della società ...

IPCC 2013

Medie su 10 anni – Temperatura globale





Tutti i modelli sono sbagliati, ma alcuni sono utili

Grazie dell'attenzione!



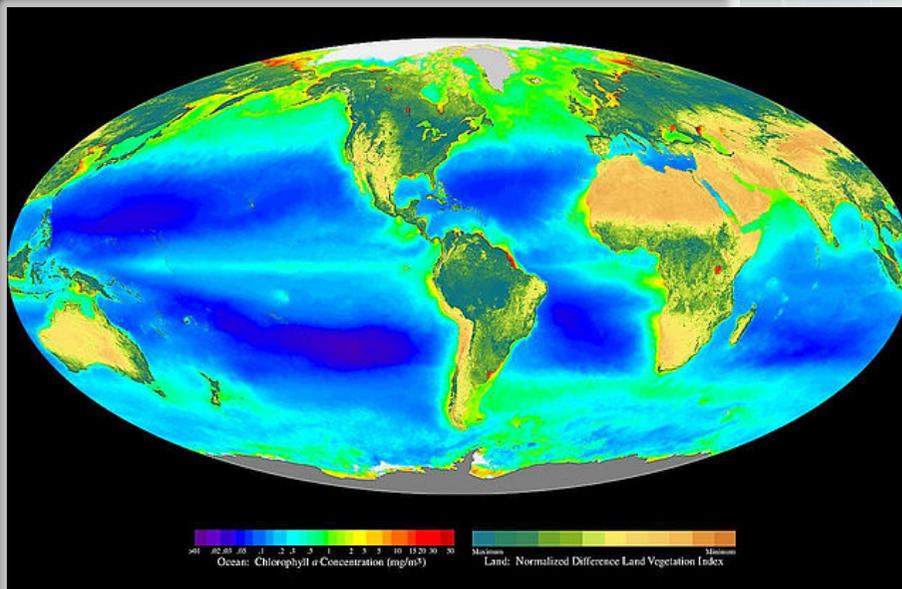
Slides aggiuntive

La Terra è “speciale”

*Involuppo fluido che la circonda –
Atmosfera e Oceano*



Il ciclo dell'acqua – Le tre fasi



*Gli organismi viventi –
Biosfera e Clima*

Amplificazione legata alla Retroazione Ghiaccio-Albedo

**FORZANTE
INIZIALE**

RISCALDAMENTO

**AUMENTO DEL
RISCALDAMENTO**

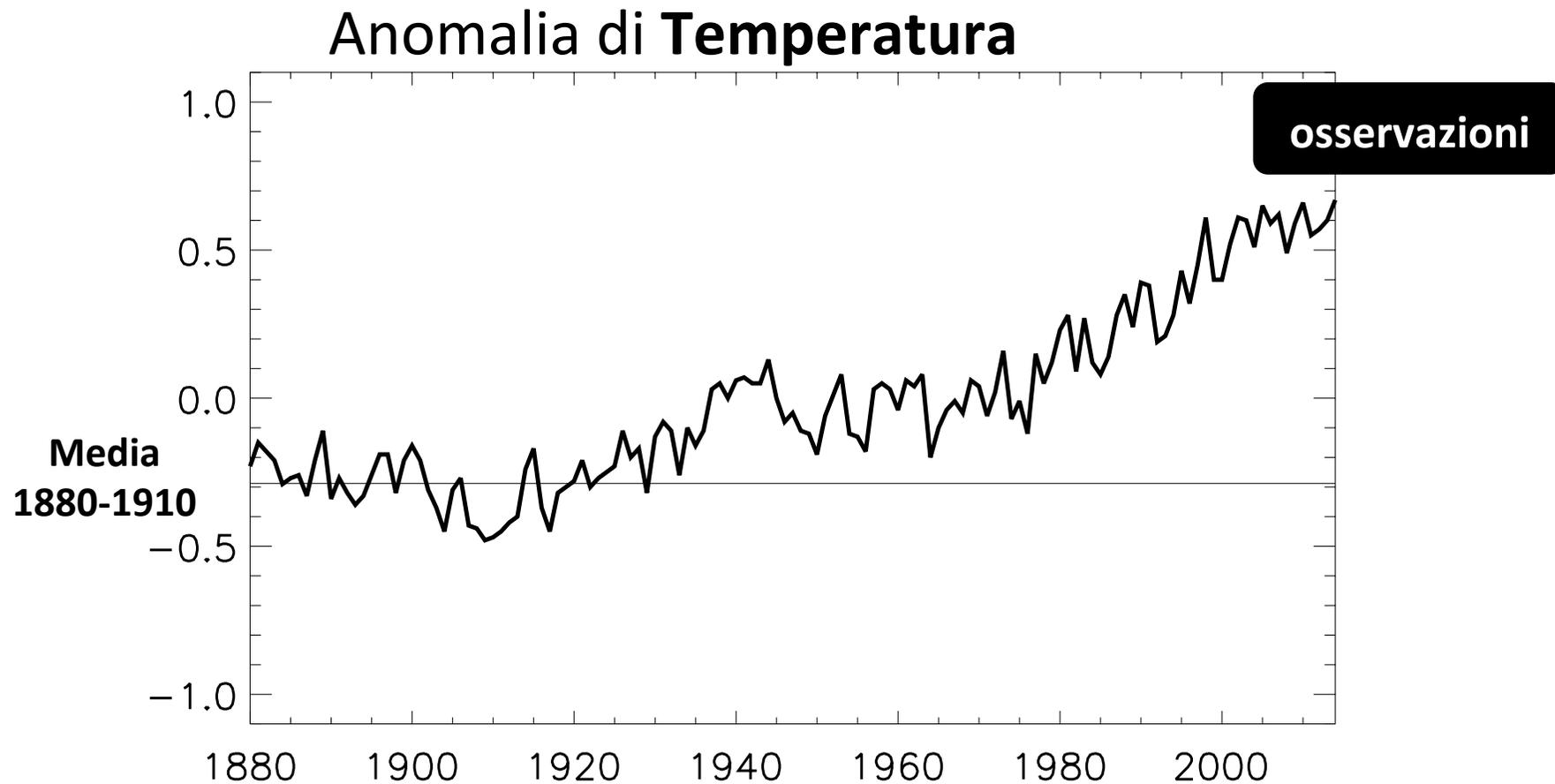
**DIMINUZIONE NEVE E
GHIACCIO → MINORE
ALBEDO → MINORE
RIFLETTIVITA'**

**MAGGIORE
ASSORBIMENTO DI
RADIAZIONE ALLA
SUPERFICIE**



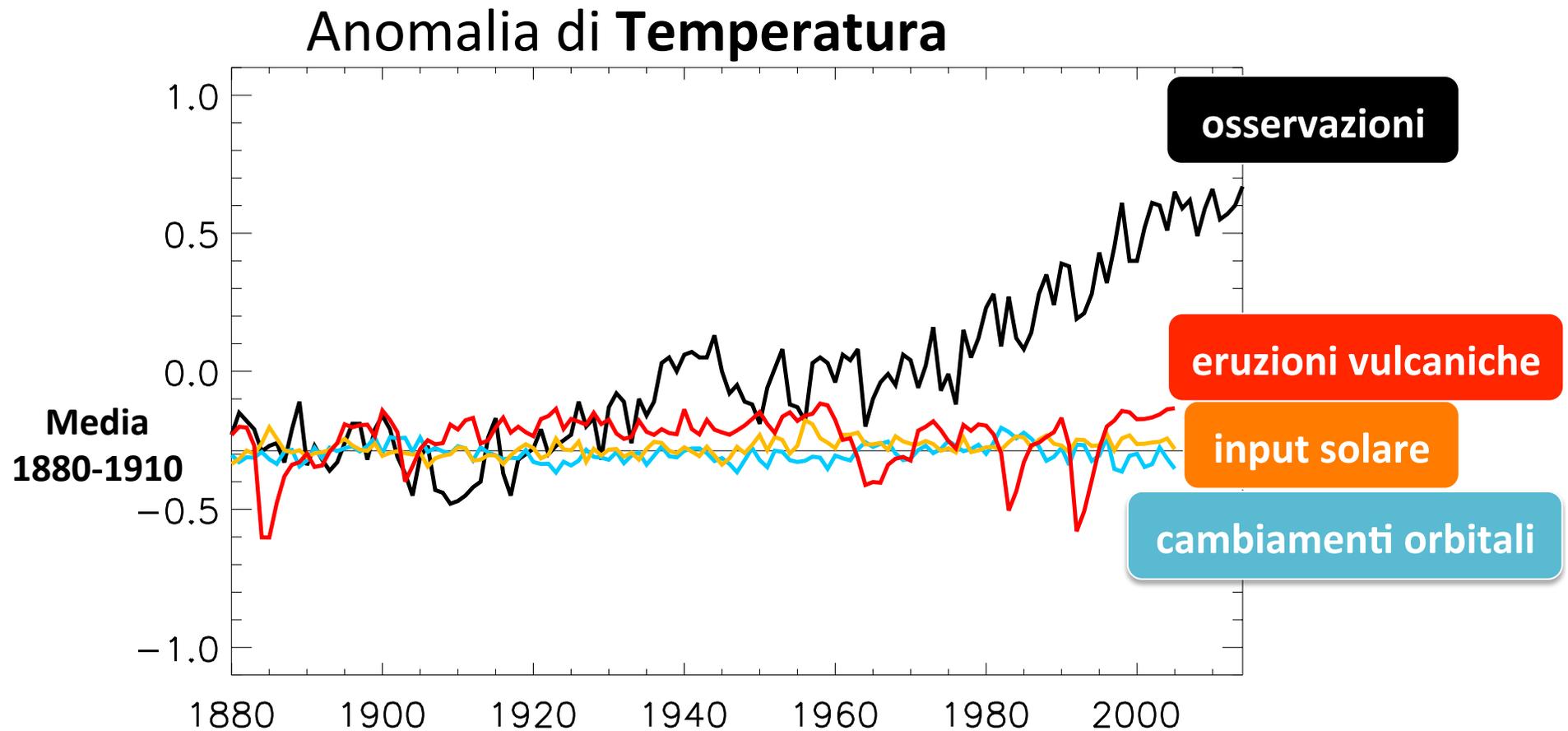
Cause del riscaldamento globale osservato negli ultimi 150 anni

I modelli sono lo strumento essenziale per capire le CAUSE (ATTRIBUZIONE)



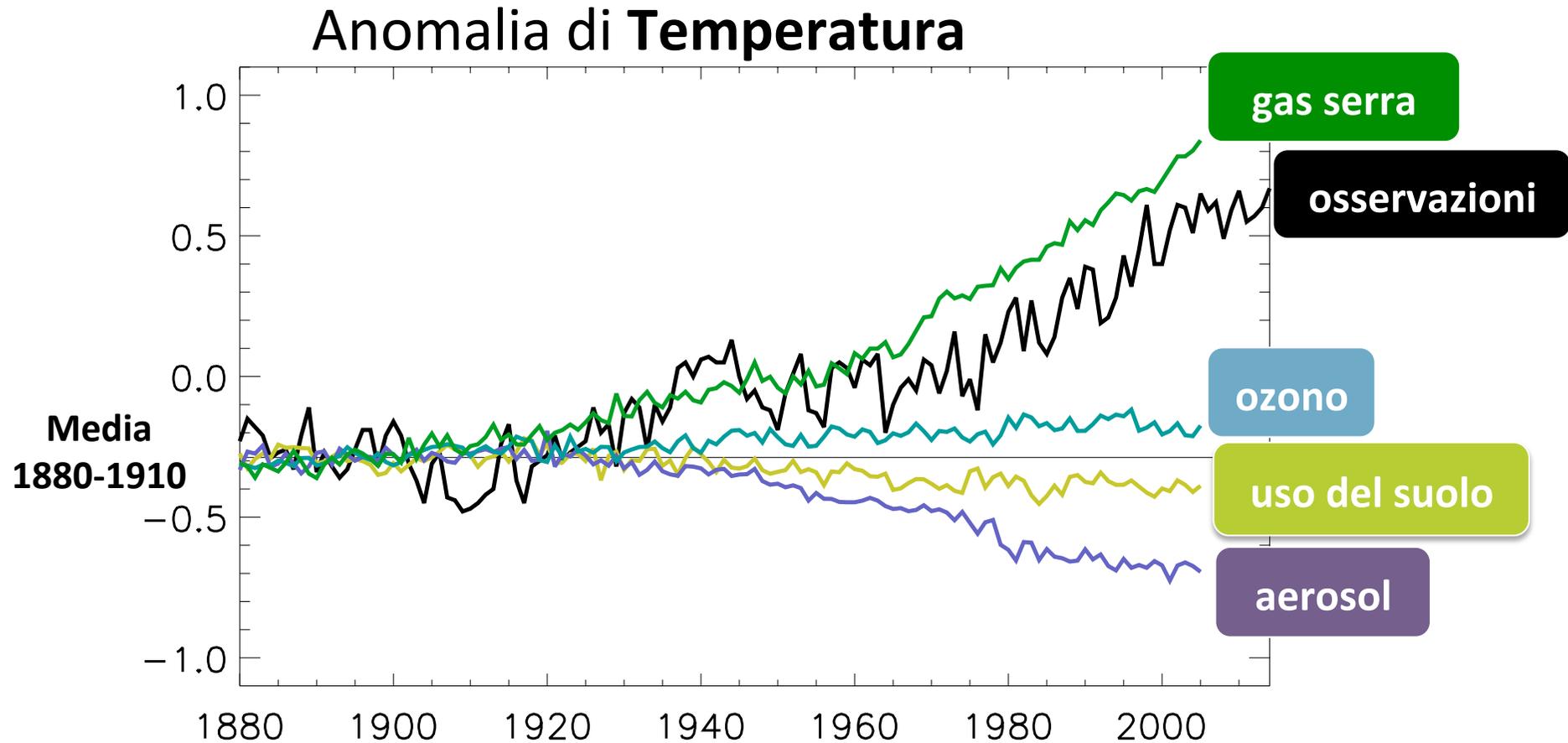
Cause del riscaldamento globale osservato negli ultimi 150 anni

I modelli sono essenziale per fare esercizi di **ATTRIBUZIONE**
Forzanti **NATURALI** ?



Cause del riscaldamento globale osservato negli ultimi 150 anni

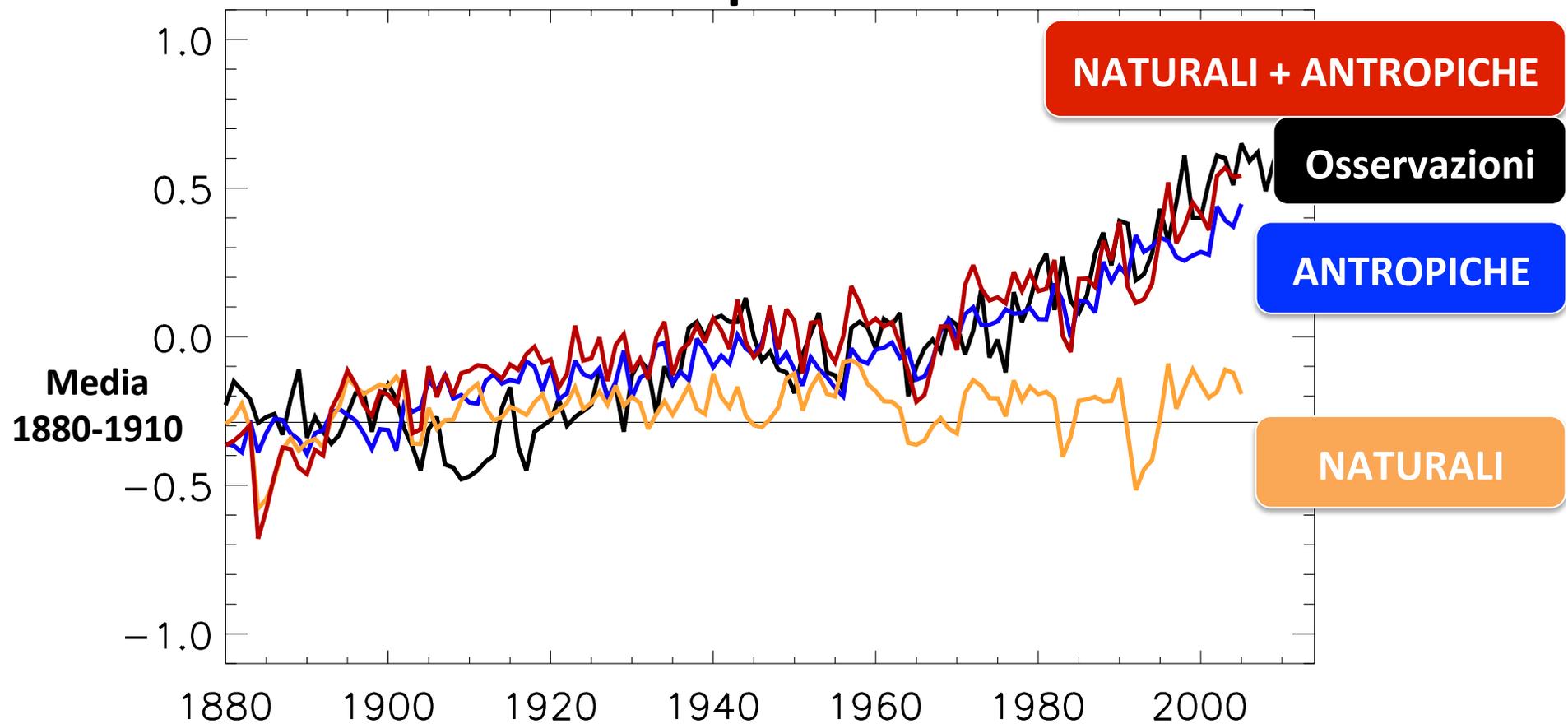
I modelli sono essenziale per fare esercizi di **ATTRIBUZIONE**
Forzanti **ANTROPICHE**?



Cause del riscaldamento globale osservato negli ultimi 150 anni

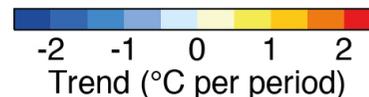
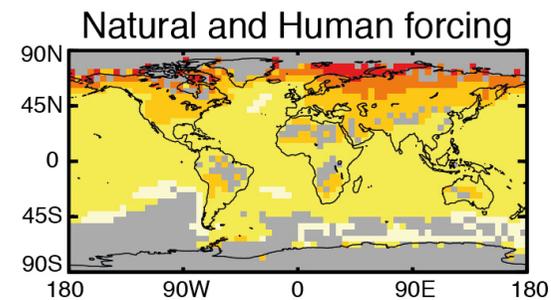
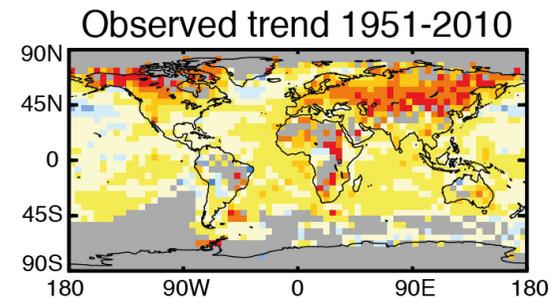
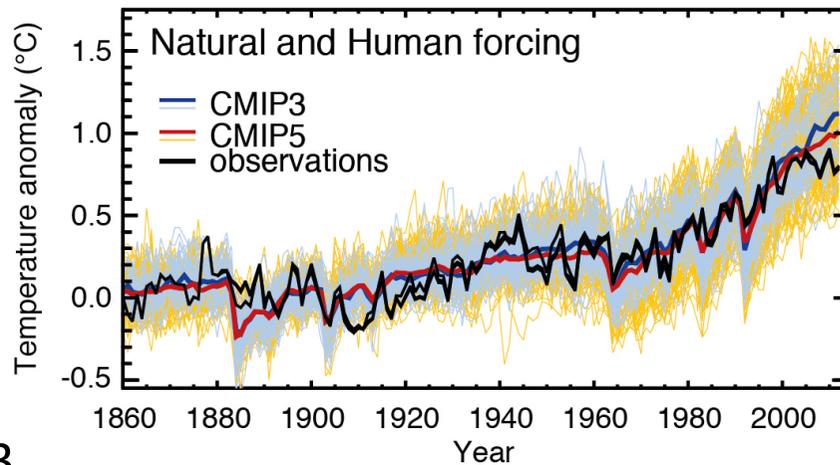
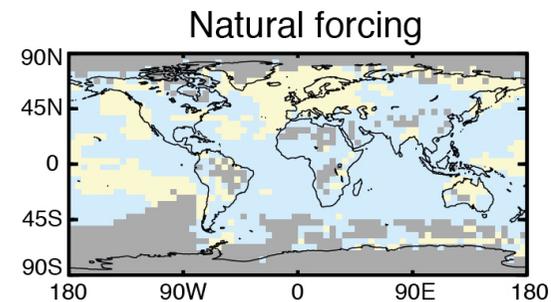
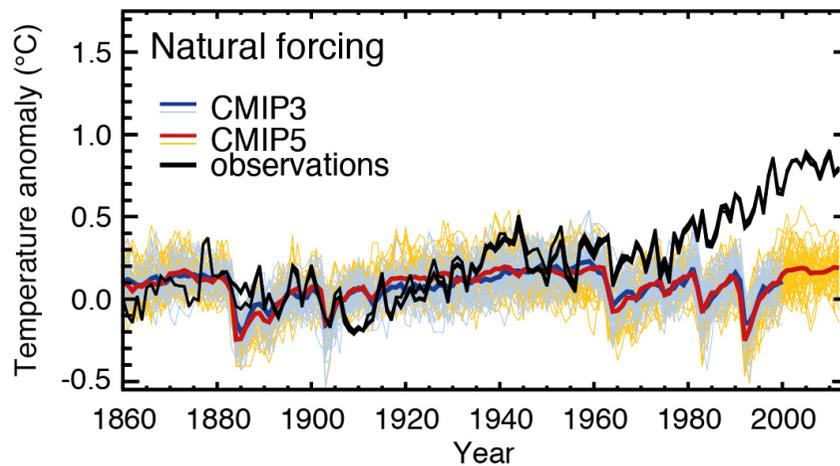
I modelli sono essenziale per fare esercizi di **ATTRIBUZIONE**
L'INFLUENZA UMANA SUL SISTEMA CLIMATICO E' CHIARA

Anomalia di Temperatura



Cause del riscaldamento globale osservato negli ultimi 150 anni

Il riscaldamento climatico è consistente con le simulazioni dei modelli che includono fattori naturali ed antropici



Italia e Mediterraneo

L'Italia e il Mediterraneo in generale sono definiti "HOT-SPOT" del cambiamento climatico

Temperature medie annue cresciute di 1.4 °C nell'ultimo secolo al Centro-Nord (poco meno del doppio della media globale)

Sulle Alpi ciò ha causato il **dimezzamento della superficie ricoperta dai ghiacciai**. I ghiacciai piccoli si estinguono; i ghiacciai più grandi si frammentano e ricoprono di detriti franati dalle pareti rocciose

Formazioni di **laghi effimeri di fusione** (con minaccia di loro svuotamento improvviso)

Degradazione del permafrost

Limite pioggia-neve salito di quota

Fusione stagionale della neve in anticipo

Variazione nella tempistica dei deflussi fluviali

La precipitazione media annua non è cambiata molto **ma sono aumentati gli eventi estremi** (scrosci violenti e localizzati, nubifragi)

Come cambia la statistica del clima

